

Анализ экспериментальных и расчетных данных показывает, что используемый метод компьютерного моделирования с применением пакета SolidWorks достаточно адекватно описывает сложные процессы теплообмена и аэродинамики, протекающие при сжигании топлива в радиационных газовых нагревателях. Это позволяет использовать данный метод для прогнозирования характеристик тепловой работы радиационных труб при изменении диаметра труб, тепловой нагрузки, способа сжигания, а так же других конструктивных и реконструктивных параметров.

Список использованных источников

1. *Маслов В.И. Бондаренко О.Н. Рязанов В.Т. Совершенствование сжигания природного газа в металлических U-образных трубах // Сталь. 1985. № 3. С. 525–253.*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОКАЛЬЦИНАТОРА

© А.В. Дикарева, Т.Е. Герасименко, Е.И. Мешков, 2012

*ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)», г. Владикавказ*

Электрокальцинатор (ЭК) – эффективный агрегат для проведения высокотемпературных процессов прокаливания углеродных материалов. Сущность этих процессов заключается в развитии и формировании кристаллической решетки графита [1] при температуре 2000–2500 °С. В ЭК процессы теплообмена и нагрева материала оказывают основное влияние на интенсивность и результат данного процесса.

Нагрев в основном осуществляется за счет выделения теплоты в слое прокаливаемого материала при прохождении через него электрического тока. Теплота также выделяется при горении обрабатываемого материала и летучих веществ, выделяющихся из него.

Тепловое поле во внутреннем пространстве ЭК распределено крайне неравномерно. Установлено, что концентрация силовых линий тока и наибольший разогрев (свыше 2500 °С) проходит в зонах, расположенных в межэлектродном пространстве вблизи осевой линии, а материал возле стенок ЭК нагревается (от 800 до 1200 °С) за счет потока тепла, идущего от центральных наиболее нагретых электрическим током зон. Этой температуры недостаточно для получения продукта требуемого качества, что приводит к снижению технико-экономических показателей из-за необходимости отделения непрокаленной части продукта для повторной обработки.

Прямой контроль температуры внутри ЭК практически осуществить трудно, поэтому для исследования вычислительным экспериментом и оптимизации процесса целесообразно создать его математическую модель. Для этого нами использован зональный метод расчета теплообмена и следующая схема разбиения ЭК на зоны (рис. 1).

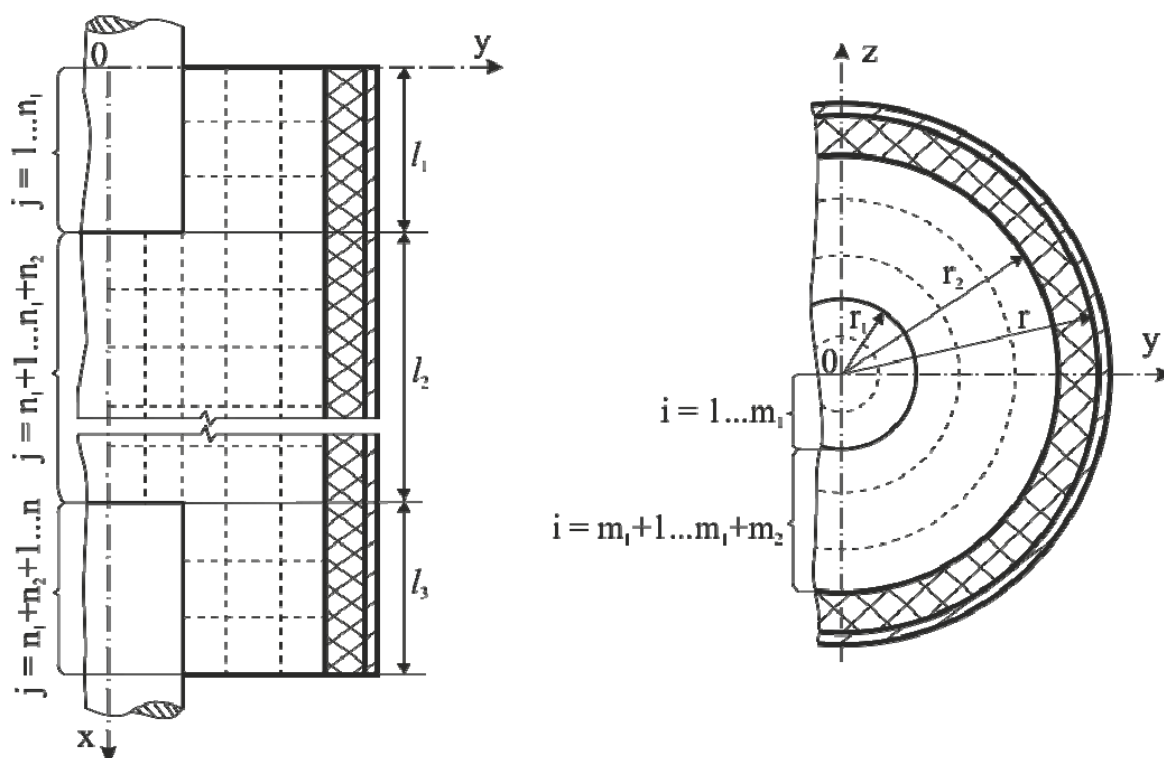


Рис. 1. Схема разбиения электрокальцинатора на зоны

Учитывая полную симметрию относительно оси x , с целью расчета теплообмена ЭК применена его двумерная модель. По оси x количество зон равно n , а по оси y – m , где $n = n_1 + n_2 + n_3$, а $m = m_1 + m_2$. Общее количество зон составляет $l = m \cdot n$.

Расчет поля температур внутри ЭК основан на составлении и решении системы зональных уравнений теплового баланса. Количество уравнений в системе равно количеству зон l . Учет зависимости теплофизических характеристик от температуры, используемых в математической модели, осуществляется за счет применения известной итерационной процедуры. Она выполняется в следующей последовательности:

- 1 – задаются первые приближения зональных температур;
- 2 – составляются зональные уравнения теплового баланса;
- 3 – решением системы уравнений рассчитываются более точные значения зональных температур;
- 4 – используя уточненное значение этих температур, выполняются со второго пункта последующие шаги итерационной процедуры;
- 5 – расчет завершается при получении точного решения модели, когда разность значений зональных температур двух последовательных итерационных шагов не превышает требуемой точности решения.

Анализ литературных источников показал, что в настоящее время отсутствует полный объем необходимых сведений о процессе прокалики для точного его описания с помощью математической модели. Это связано с тем, что в ЭК взаимосвязаны различные виды теплопередачи в совокупности с локальными источниками выделения тепла, с движением материала и выделением летучих. С целью создания комплексной модели необходимо выявить процессы, оказывающие определяющее воздействие на конечный результат.

Для математического описания процесса, кроме базовых свойств материалов, необходимо количественно описать комплексный процесс изменения свойств перемещающегося слоя с учетом влияния изменения электрического, теплового, газодинамического полей ЭК, а также кинетики химических реакций (горения углерода в слое, выделения и горения летучих и т.д.).

Основными физико-химическими свойствами материала, изменяющимися в процессе термообработки, используемыми при оптимизации процесса прокали, являются удельная электропроводность (УЭП), теплопроводность, плотность, теплоемкость, степень графитации и содержание летучих веществ.

Электропроводность материала является одной из важнейших характеристик процесса прокали и качества продукции. В работе [2] на основе экспериментальных данных получено интегральное кинетическое уравнение для определения удельной электропроводности σ и установлено, что рост кристаллов является фактором, определяющим повышение УЭП

$$\sigma = b \left(\int_{\tau_0}^{\tau} \exp \left(\frac{E}{RT(\tau)} \right) d\tau \right)^n, \quad (1)$$

где τ – продолжительность изотермической выдержки, мин.; E – кажущаяся энергия активации, кДж/моль; R – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль·К); T – абсолютная температура, К; b и n – постоянные.

Известно, что существенные колебания значений УЭП возникают в силу неоднородности физико-химических свойств исходного материала, а именно из-за широкого интервала гранулометрического состава, при котором самопроизвольно возникают в объеме зоны с различной газопроницаемостью и, следовательно, с различными температурами. Кроме того, гранулометрический состав оказывает влияние и на контакт между отдельными зернами материала, при котором электрическая и тепловая энергия переходят от одного зерна к другому. В связи с этим в месте контакта возникает перегрев материала, который оказывает влияние на УЭП в целом. Используя исследования, проведенные в работе [3], можно вывести зависимость УЭП от падения напряжения в точке контакта, температурой перегрева и теплопроводностью материала:

$$\sigma = 8\theta\lambda / U^2, \quad (2)$$

где θ – температура перегрева приконтактного места, К; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), U – контактное напряжение, В.

Другим важнейшим фактором, наряду с УЭП, определяющим работу ЭК, является эффективная теплопроводность, которая определяется с учетом газовой фазы, расположенной между кусками материала, и может быть выражена уравнением [2]:

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 + \frac{\varepsilon_v}{\frac{1}{1 - \lambda_0 / \lambda_r} - \sqrt[3]{\varepsilon_v}} \right), \quad (3)$$

где λ_0 и λ_r – теплопроводность материала и средняя теплопроводность газов в пространстве между кусками соответственно, Вт/(м·К); ε_v – пористость слоя.

Так как ЭК это агрегат, в котором протекает сложный теплообмен, то, помимо теплопроводности, необходимо учитывать и конвекцию и излучение. Коэффициент теплопередачи α между поверхностью материала и газовой фазой определяют по уравнению

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_r}{d_{cp}}, \quad (4)$$

где Nu – приведенное число Нуссельта, d_{cp} – средний эквивалентный диаметр кусков материала, м.

Влияние радиационного теплообмена можно определить по уравнению М.М. Гасика для системы свободно насыпанных тел

$$\lambda_{рад} = 1,71 \cdot 10^{-9} T^3, \quad (5)$$

при $\varepsilon = 0,4$ и интегральной степени черноты, $\varepsilon_{рад} = 0,8-0,9$, где T – абсолютная локальная температура материала, К.

Приведенные зависимости позволяют создать математическую модель ЭК, с помощью которой можно с достаточной точностью получить значительный объем информации, который будет в дальнейшем использован для определения оптимальных режимных параметров и конструкций агрегата, а также практического применения полученных результатов.

Список использованных источников

1. Чалых Е.Ф. Технология и оборудование электродных и электроугольных предприятий. М.: Металлургия, 1972.
2. Гасик М.М., Гасик М.И. и др. Комплексная модель прокаливания антрацита в электрокальцинаторе // Электрометаллургия. 2007. № 2.
3. Лакомский В.И., Быковец В.В. О контактном нагреве термоантрацита в электрокальцинаторе // Цветные металлы. 2004. № 1.

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА В ПЕЧАХ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

© А.В. Епишин, В.В. Кузнецов, Р.С. Бегинин, 2012

НИТУ «МИСис», г. Москва

Современное положение на рынке характеризуется постоянно растущими требованиями потребителей к качеству готовой продукции металлургии. Обеспечить высокое качество можно только при систематическом контроле технологического процесса, который проводится по всем переделам и позволяет также исключить брак и минимизировать затраты энергетических и материальных ресурсов. Основными показателями, обеспечивающими получение заданного качества металла, являются состав, структура, состояние поверхности.

Температурный режим нагрева и охлаждения в ходе проведения процессов выплавки, разлива и прокатки определяет как качество продукции, так и затраты энергии (удельный расход топлива, электроэнергии, кокса) и ресурсов (расход воды, пара, защитного газа, количество брака, окалина и т.п.). Температурный режим работы влияет на стойкость элементов печей, длительность межремонтных периодов и объем ремонтов печей, сталеразливочного и прокатного оборудования.

Таким образом, в металлургическом производстве имеются два основных параметра, определяющих технико-экономические параметры (ТЭП) функционирования как всего комбината в целом, так и каждого агрегата в отдельности: состав и температурный режим во всем цикле получения готовой продукции (рис. 1).

Состав практически закладывается на двух первых переделах: производство чугуна и выплавка стали, и определяет его потребительские механико-физические свойства. Температурный режим технологического процесса является наиболее важной характеристикой производства. Температурный режим охлаждения слитка в процессе кристаллизации на МНЛЗ определяет равномерность химического состава, создает необходимую первичную структуру заготовки и качество ее поверхности.

Заготовка передается в цех горячей прокатки. Металл перед соответствующим станом нагревается либо в нагревательных колодцах, либо в методических толкательных печах или печах с шагающими балками или подом. Режим нагрева должен обеспечивать получение заданной температуры от 1150 до 1250 °С и минимального перепада по сечению заготовки от 10 до 20 °С. Управление температурным режимом осуществляется практически только по показаниям зональных термоэлектрических термометров (ЗТТ). Оператор печей вводит изменения в режим их работы на основании своего опыта по показаниям пирометров